

ベンダーエレメント試験の送信波として用いるスイープ波の最適化

秋田大学 学生会員 ○大瀧 淳司
 同上 正会員 荻野 俊寛
 同上 同上 及川 洋

1. はじめに

ベンダーエレメント試験では送信波として用いる波の波形や振動数によって受信波形が大きく変化し、せん断波の到達時間が見極めにくいという問題がある¹⁾。そこで著者らはスイープ波を送信波として求めたBE試験装置系のインパルス応答から任意の送信波に対する受信波形を計算によって再現する手法を提案した²⁾。本報告はこの手法で用いるスイープ波の種類や長さなどが受信波形の再現性に及ぼす影響について検討するものである。

2. 実験概要

実験にはBEを組込んだ三軸試験装置、BEを組込んだ圧密容器を用いている。図-1は試験装置の概略を示している。供試体には秋田泥炭を使用した。所定の圧密応力で段階的に圧密を行い、各段階で3t法により圧密を打ち切ったのち、まず所定の振動数のsin波を送信波としたBE試験を行い、送受信波形の実験値を観測する。次に所定のスイープ波を送信波としたBE試験を行い送・受信波形を観測しインパルス応答を同定する。インパルス応答を用いて前述のsin波を送信波とした場合の受信波形を計算によって求め、得られた計算値と実験値を比較する。スイープ波には一般に用いられる位相差が時間に比例するもの(LSSP)および位相が周波数の2乗に比例するもの(TSP³⁾)の2種類の波形を用いた。LSSPおよびTSPは式(1)および式(2)で表される。図-2に代表的なスイープ波の例を示す。本論文で用いたスイープ波は表-1で示している。

$$\begin{cases} y = A\sin(\omega t) \\ \omega = 2\pi\left(f_0 + \frac{t}{t_t}\Delta f\right) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、yは出力電圧、Aは振幅、 ω は角速度、tは時間、 f_0 は初期周波数、 Δf は周波数幅、 t_t はスイープ波の継続時間であり、本報告ではA=10(V)、 $f_0=200$ (Hz)、 $\Delta f=5000$ (Hz)、 $t_t=16$ (msec)としている。なお、インパルス応答の同定手法およびインパルス応答から任意の送信波に対する受信波形の計算方法については参考文献2)に従った。

$$X_{TSP} = \begin{cases} \exp\left(i\frac{m\pi n^2}{N^2}\right), & 0 \leq n \leq \frac{N}{2} \\ X_{TSP}^*(N-n), & \frac{N}{2} + 1 \leq n \leq N \end{cases} \quad (2)$$

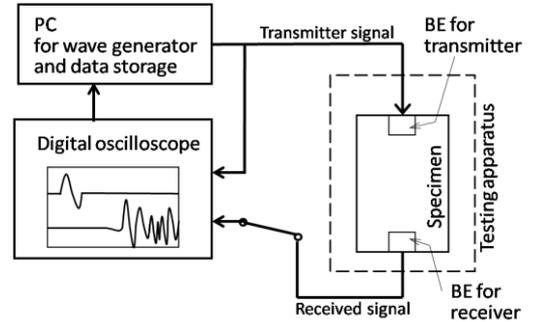


図-1 ベンダーエレメント試験装置の概略図

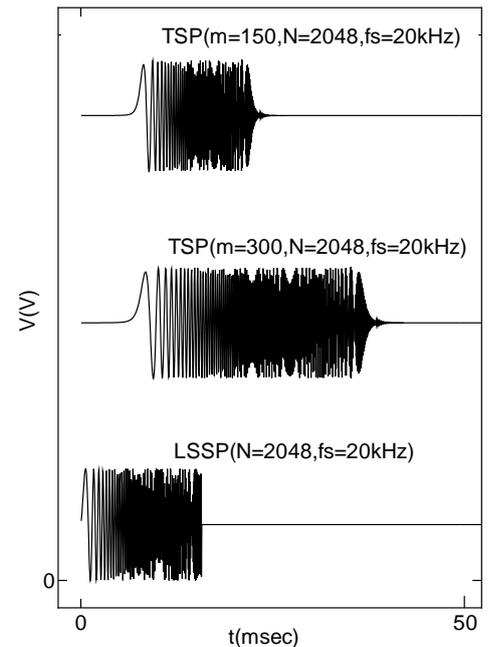


図-2 代表的なスイープ波の例

表-1 用いたスイープ波の種類

	m	N	サンプリング 周波数 f_s (kHz)	TSP 長 (msec)
TSP	50	2048	20	102.35
TSP	150	2048	20	102.35
TSP	300	2048	20	102.35
LSSP	/	2048	20	102.35

ここに、 X_{TSP} は TSP のフーリエ変換、 n は離散周波数 ($0 \leq n \leq N$), N はデータ数、 m は引きのぼし量(パラメータ)、 $*$ は複素共役である。本報告では m の値を $m=50, 150, 300$ と設定し、受信波の再現性に対する影響を検討している。また、 $N=2048$ としている。

3. 実験結果および考察

図-3 は実験から得られた実際の受信波形とインパルス応答から計算した受信波形を比較している。最上段は送信波形を示しており、上から順に TSP($m=50$), TSP($m=150$), TSP($m=300$), LSSP によるインパルス応答による計算値と実験値を比較している。スイープ波の引きのぼし量、スイープ波の種類によってシミュレート結果に差異があることがわかる。実験値との比較から、TSP($m=150, 300$)は概ね受信波形を再現できているが、TSP($m=50$), LSSP は再現できていないことがわかる。図-4 は用いたスイープ波のパワースペクトルの差異を示している。式(1)および式(2)において TSP はパワースペクトルの値が 1 を示すが、LSSP はパワースペクトルの値が 1 を示しておらず、スイープ波の違いによってパワースペクトルに差異があることがわかる。また、実験値において TSP($m=150, 300$)のパワースペクトルは高周波で減衰するものの比較的式(2)から計算したパワースペクトルに近く、TSP($m=50$), LSSP はパワースペクトルの分布は不均一であり、図-3 における各スイープ波による受信波形の再現性に対応していることがわかる。図-5 は圧密容器、三軸試験装置でのシミュレートの差異を示している。上段は三軸試験装置のシミュレート結果、下段は圧密容器のシミュレート結果を示しており、受信波形の再現性は試験装置によらないことがわかる。

4. 結論

本研究から得られた知見は以下の通りである。

- ① スウィープ波のパワースペクトルの各周波数成分の分布が均一なほど受信波形の再現性が高いことを示した。
- ② 受信波形の再現性は試験装置によらないことを示した。
- ③ 受信波形の再現性はスイープ波のパワースペクトルが影響していることを示した。

【参考文献】

- 1) 川口貴之, 三田地利之, 澁谷 啓, 佐野信房: 室内ベンダーエレメント試験によるせん断弾性係数 G の評価, 土木学会論文集, No.694/III-57, pp. 195-207, 2001.
- 2) 荻野俊寛, 及川洋, 三田地利之(2007): 試験装置系のインパルス応答を利用したベンダーエレメント試験における受信波形シミュレーション, 第 42 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.297-298.
- 3) 鈴木 陽一, 浅野 太, 金 学胤, 曾根 敏夫: 時間引き延ばしパルスの設計法に関する考察, 電気通信情報学会, 信学技法, pp. 17-24, 1992.

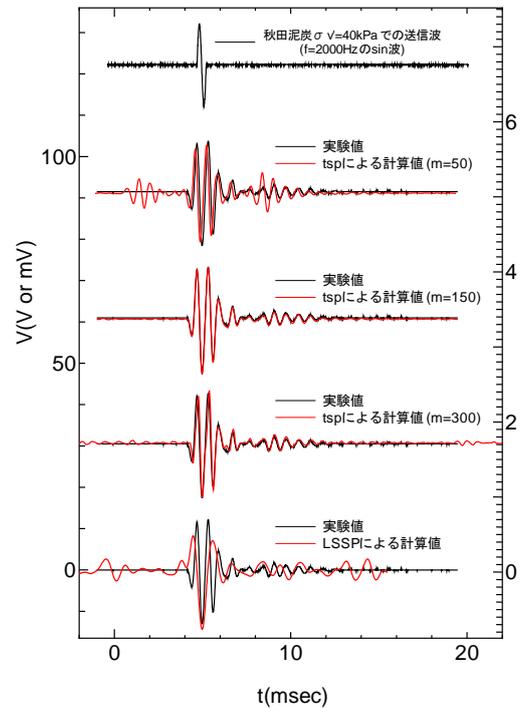


図-3 スウィープ波の種類およびパラメータ m の違いによるシミュレート結果の差異

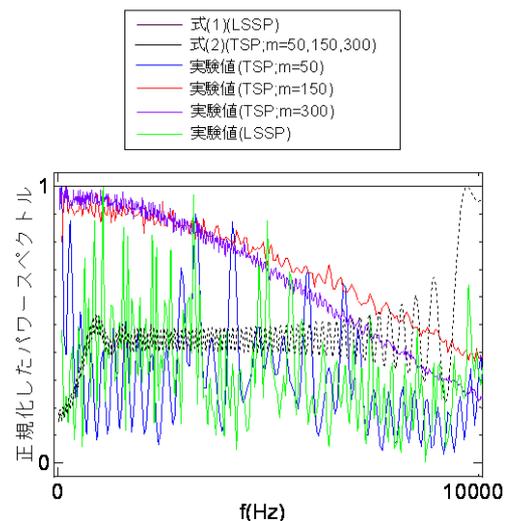


図-4 スウィープ波の違いによる実験値とパワースペクトルの差異

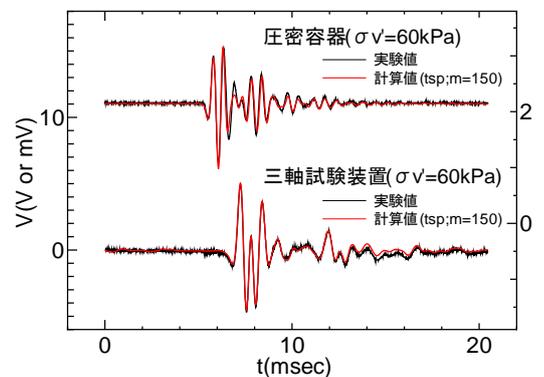


図-5 圧密容器と三軸装置の違いによるシミュレート結果の差異